Vol.12, No.4, Winter 2024, pp.187-203 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.75557.1185 Open access

Investigating the Two-Dimensional HEC-RAS Model Capability for Flood Risk Mapping in the Qarachai River in Ramian, Golestan Province

Mahbube Bai [a], Nasser Tahmasbipour [b*], Hossein Zeinivand [c], Amir Sadoddin [d], Mehdi Kahe [e]

[a] *PhD Candidate in Watershed Management Sciences, Lorestan University, Khoram Abad, Iran*
[b] *Associate Professor in Hydrology, Lorestan University, Khoram Abad, Iran*
[c] *Associate Professor in Hydrology, Lorestan University, Khoram Abad, Iran*
[d] *Professor in Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran*
[e] *PhD in Water Science Eng. (Hydraulic Structures), Gorgan Iran.*

Received: 27 February 2022 ***Revised: 15 May 2022*** ***Accepted: 25 May 2022***

Abstract

Changes in precipitation patterns and its intensity due to the global climate change has led to intensifying floods as the most occurent natural disaster. Flooding cannot be fully prevented, but its impacts can be mitigated by accurately identifying flood-prone areas and implmenting appropriate risk-based management measures. The Qarachai Watershed, located in the upstream of the Gorganrood River Basin in Golestan Province, Iran, was chosen as the study area, which has experienced several flood events in recent decades. In this study, flood risk was assessed using the HEC-RAS, a two-dimensional hydraulic model. Flood discharge values occured in the early 2019 were considered as model input, and based on ground truth, the manning roughness coefficient values were measured. To evaluate the results of the HEC-RAS model, some statistical criteria were used reflecting a good performance of the model. The analysis showed that by increasing the return period, the extent, depth, and amount of flood risk increase. Moreover, the analysis showed that the flood zone in 100 year return period, affects parts of Seyedkalate Village. Approximately, half of the flood zone identified in this study was attributed with very low-risk. The results of the study are used to adopt appropriate strategies and plans to adapt to climate change and as an appropriate tool for identifying flood exposed and flood-prone zones.

Keywords: Flood Hazard Mapping, HEC-RAS Model, Two-dimensional HEC-RAS Hydraulic Model, Flood Risk Management, Qarachai River, Golestan Province

[*]. Corresponding author: Nasser Tahmasbipour Email: Tahmasebi.n@lu.ac.ir Tel: +989125476873

How to cite this Article: Bai, M. Tahmasbipour, N. Zeinivand, H. Sadoddin, A. & Kahe, M. (2023). Investigating the two-dimensional HEC-RAS model capability for flood risk mapping in Qarachai River in Ramian, Golestan Province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(4), 187-203.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.75557.1185

Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 4 - Number 48, Winter 2024
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75557.1185

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارۀ چهل و هشتم، زمستان ۱۴۰۲، صص ۲۰۳-۱۸۷

مقاله پژوهشی

بررسی قابلیت مدل دوبعدی HEC-RAS در تهیه نقشه خطر سیلاب در رودخانه قره‌چای رامیان، استان گلستان

محبوبه بای- دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
ناصر طهماسبی‌پور[1]- دانشیار، هیدرولوژی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
حسین زینی‌وند- دانشیار، هیدرولوژی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
امیر سعدالدین- استاد، مدیریت آبخیز، دانشگاه علوم‌کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان، گرگان، ایران
مهدی کاهه- دکتری منابع آب (سازه‌های هیدرولیکی)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۳/٤

چکیده

تغییرات در الگوها و شدت‌های بارش ناشی از تغییر اقلیم جهانی موجب تشدید رخدادهای سیل به‌عنوان یکی از رایج‌ترین بلای طبیعی در سطح دنیا شده است. این در حالی است که بشر نمی‌تواند جلوی بروز سیل را بگیرد، اما می‌تواند اثرات این مخاطره را با شناسایی دقیق مناطق مستعد سیل و اجرای اقدامات مدیریت ریسک محور کاهش دهد. حوزه آبخیز قره‌چای یکی از سرشاخه‌های حوضه گرگانرود در استان گلستان به‌عنوان منطقه موردمطالعه انتخاب شد که رخدادهای سیلابی متعددی را تجربه نموده است. در این مطالعه خطر سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS دوبعدی ارزیابی شده است. بدین‌منظور مقادیر دبی رخداد سیلابی سال ۱۳۹۷ به‌عنوان ورودی مدل مذکور انتخاب شدند و بهینه‌سازی ضرایب زبری مانینگ مطابق با شواهد موجود انجام شد و سپس واسنجی مدل انجام شد. شاخص‌های آماری مورد استفاده در ارزیابی مدل همگی توصیف‌کننده شبیه‌سازی خوب آن می‌باشند. نتایج نشان داد با افزایش دوره بازگشت سیل، گستره، عمق و میزان خطر ناشی از آن افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که با در نظر گرفتن دوره

---

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۵٤۷٦۸۷۳ Email: Tahmasebi.n@lu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

بای، محبوبه؛ طهماسبی پور، ناصر؛ زینی وند، حسین؛ سعدالدین، امیر؛ کاهه، مهدی. (۱۴۰۲). بررسی قابلیت مدل دو بعدی HEC-RAS در تهیه نقشه خطر سیلاب در رودخانه قره‌چای رامیان، استان گلستان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(٤).۲۰۳-۱۸۷.
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75557.1185

بازگشت صدسال در مطالعه حاضر، پهنه سیلاب بخش‌هایی از روستای سیدکلاته را تحت‌تأثیر قرار داده است. در نقشه پهنه‌بندی خطر سیل، حدود نیمی از بازه موردمطالعه در کلاس بسیار کم‌خطر (کلاس یک) قرار دارند. نتایج مطالعه به‌منظور اتخاذ راهبردها و برنامه‌های مناسب با هدف سازگاری با شرایط تغییر اقلیم و به‌عنوان ابزار مناسب برای شناسایی مناطق مستعد و در معرض خطر سیل کاربرد دارد.

کلیدواژه‌ها: نقشه خطر سیل، مدل HEC-RAS دوبعدی، مدیریت ریسک سیل، رودخانه قره‌چای، استان گلستان.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر تحقیقات اقلیمی گسترده‌ای به‌منظور پیش‌بینی تغییرات الگو و شدت بارش جهانی تا پایان قرن ۲۱ انجام شده است. نتایج مطالعات حاکی از افزایش بارندگی در مناطق مختلف دنیا است. تغییرات ناگهانی در الگوهای بارش و شدت آن منجر به بروز خطرات طبیعی از قبیل سیل، خشکسالی، زمین‌لغزش ناشی از بارش می‌شود. ازاین‌بین سیلاب‌ها بیشترین فراوانی و بالاترین خطر[1] را به خود اختصاص داده است (رنجری و همکاران[2]، ۲۰۱۹) و مطالعات انجام شده در زمینه تغییر اقلیم بر افزایش تعداد افراد در معرض سیل دلالت دارند (تلمن و همکاران[3]، ۲۰۲۱)، به‌طوری‌که در طول ۲۰ سال گذشته، سیل رایج‌ترین بلای طبیعی محسوب می‌شده است و ۴۳ درصد از وقوع کلیه مخاطرات طبیعی (جوهاسپر و همکاران[4]، ۲۰۱۵؛ دی‌بلداساری و همکاران[5]، ۲۰۱۰) مربوط به آن است. سیل‌ها یکی از عوامل بالقوه مرگ و میر مردم و جابجایی آن‌ها از مساکن خود در سطح جهان هستند که ضمن آسیب به محیط‌زیست، اقتصاد، توسعه اقتصادی آن منطقه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (دی‌بلداساری و همکاران، ۲۰۱۰). درحالی‌که نمی‌توان جلوی وقوع سیل را گرفت، اما اثرات این مخاطره را می‌توان با شناسایی دقیق مناطق مستعد سیل و اقدامات مدیریتی ریسک محور کاهش داد. مدیریت ریسک محور سیل به‌عنوان روشی مناسب برای مواجه با مخاطرات محیطی، محیط‌زیستی و خطرات ایجاد شده توسط انسان تعریف می‌شود (پلت[6]، ۲۰۰۲). شناخت فرایندهای سیلابی شدن بر حسب اندازه سیل، عمق طغیان، سرعت جریان و زمان رسیدن سیل در تدوین استراتژی‌های کاهش خطر سیل ضرورت دارد (ساهو و سجا[7]، ۲۰۱۷)؛ بنابراین اتخاذ هر نوع اقدامی نیاز به کسب اطلاعات در مورد ویژگی‌های سیل با پیش‌بینی دقیق به‌وسیله مدل است (امری و بریتا[8]،۲۰۲۰).

1 Hazard
2 Rangari et al.
3 Tellman et al.
4 Guha-Sapir et al.
5 Di Baldassarre et al.
6 Plate
7 Sahoo and Sreeja
8 Amrei and Britta

مدیریت مؤثر سیلاب نیازمند نقشه طغیان[1] سیل، تخمین احتمالی از آسیب و ریسک سیل در پهنه سیلاب و ارائه طرح جامع برای کاهش ریسک سیل است. نقشه خطر یک جزء مهم در مدیریت کارآمد ریسک به دلیل فراهم‌کردن اطلاعات عمق و پهنه سیل محسوب می‌شود (شهیری‌پارسا و همکاران[2]، ۲۰۱۶).

به‌منظور بررسی رفتار و ویژگی‌های سیل برای دشت‌های سیلابی و خطرات آن‌ها دو نوع رویکرد متمایز وجود دارد: الف) استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های تاریخی ثبت شده (داغاب و علائم سیل) که در مواقع کمبود داده و عدم وجود آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. ب) استفاده از مدل‌های عددی برای شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی که مورد اخیر به دلیل توانایی بیشتر در ارائه نتایج خوب، قابل قبول‌تر است و انعطاف‌پذیری آن باعث شده رفتارها و ویژگی‌های سیل به‌وضوح مشخص و بررسی شود (ترین و ملکتین[3]، ۲۰۲۱).

از سویی توسعه مدل‌های هیدرولیکی همیشه یک ابزار و گام ضروری در آنالیز سیلاب‌ها می‌باشند. در سال‌های اخیر، عمدتاً از مدل‌های هیدرولیکی یک‌بعدی و دوبعدی به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی سیل و ارزیابی خطر سیل استفاده می‌شود. اونقداز و همکاران[4]، ۲۰۲۰ در رودخانه یسیل (اشیم)[5] قزاقستان اقدام به شبیه‌سازی پهنه سیلاب با مدل دوبعدی HEC-RAS نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد تغییر اندازه شبکه‌ها در عملکرد مدل تغییر چندانی ایجاد نمی‌کند. همچنین بر اساس نقشه‌های تهیه شده پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف موردمطالعه و طبقه‌بندی مناطق خطر سیل، مناطق مسکونی در بخش‌هایی از پایتخت قزاقستان در تمامی دوره بازگشت‌ها در زیر طغیان سیل قرار داشتند. امری و بریتا (۲۰۲۰) طی مطالعه‌ای در حوزه آبخیز فیش‌باخ[6] در جنوب آن به مقایسه رویکردهای هیدرولوژیکی و هیدرودینامیکی (دو رویکرد یکپارچه و جداشده[7]) به‌منظور تهیه نقشه خطر سیلاب پرداختند. هیدرولوژی حوزه آبخیز با استفاده از مدل‌های نیمه‌توزیعی بارش رواناب Hec HMS تعیین و نقشه خطر سیل با استفاده از هیدروگراف‌های زیرحوزه‌ها در یک مدل هیدرودینامیکی HEC- RAS دوبعدی تهیه شد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد رویکرد جدا شده نتایج بهتری در هیدروگراف نسبت به رویکرد یکپارچه نشان می‌دهد. پوینز و تیم[8] (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای در بازه رودخانه به‌اندازه پنج کیلومتر عملکرد چهار مدل هیدرولیکی بر اساس گستره و ارتفاع سیل به‌منظور شبیه‌سازی رخداد سیل با هدف تولید نقشه‌های مناطق سیل‌زده در رودخانه سانتا باربا[9] واقع در

1 Inundation mapping
2 Shahiri Parsa et al.
3 Trinh and Molkenthin
4 Ongdas et al.
5 River Yesil (Ishim)
6 Fischbach
7 Decoupled and Integrated approach
8 Pinos and Timbe
9 Santa Barbara

آنداکوادور[1] در نزدیکی شهر گوالاستو[2] را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد در دوره بازگشت‌های ۲ و ۵۰ سال، به ترتیب مدل‌های Iber 2D، Flood Modeller 2D، HEC-RAS 2D و PCSWMM 2D عملکرد بهتری را نشان می‌دهند. رنجری و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی ریسک آبگرفتگی در سیلاب‌های شهری با استفاده از مدل HEC- RAS دوبعدی در حیدرآباد هندوستان پرداختند. نتایج نشان داد ۱۷ درصد از مناطق هدف موردمطالعه در معرض سیل قرار دارند که عمدتاً در کلاس ریسک متوسط قرار دارند. کومار و همکاران[3] (۲۰۱۹) از مدل HEC- RAS دوبعدی و سیستم جهانی پایش سیل[4] گستره سیل و نواحی با ریسک‌های مختلف در رودخانه گانا و یامانا[5] شهر پاراپاگراجی[6] هند را بررسی کردند. نتایج نشان داد که خروجی مدل HEC- RAS دوبعدی و سیستم پایش جهانی با داده‌های مشاهداتی مطابقت دارد. آرنل و گاسلینگ[7] (۲۰۱۳) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر ریسک سیل‌های رودخانه‌ای در مقیاس جهانی با استفاده از چهار شاخص تغییر بزرگی و دوره بازگشت دبی اوج سیل، جمعیت موجود در مناطق سیل‌زده و زمین‌های زراعی در معرض سیل پرداختند. نتایج آنها نشان می‌دهد، تحت مدل تغییر اقلیم و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و اقتصادی اجتماعی در سال ۲۰۵۰ سیل‌های کنونی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در ٤۰ درصد سطح دنیا حداقل دو برابر بیشتر اتفاق خواهد افتاد و٤٥۰ میلیون نفر در مناطق سیل‌زده قرار می‌گیرند و ٤۳۰ هزار کیلومترمربع از مزارع جزو مناطق سیل‌زده و در معرض دو برابر شدن فراوانی سیل خواهند بود. قنبرپور و همکاران[8] (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به واسنجی مدل هیدرولیکی HEC-RAS براساس داده‌های مشاهداتی اندازه‌گیری شده برای رخداد سیل ناگهانی سال ۱۹۹۹ با دوره بازگشت ۲۰۰ سال و با استفاده از ضریب زبری مانینگ[9] پرداختند. نتایج مقایسه بین عمق آب رخداد سیل شبیه‌سازی شده و مقادیر بهینه ضریب زبری مانینگ همبستگی معنی‌داری را نشان می‌دهد.

مرور منابع انجام شده همگی بر عملکرد مطلوب مدل HEC- RAS دوبعدی به‌منظور ارزیابی ریسک سیل و نیز تهیه نقشه خطر سیلاب دلالت دارد. لذا در مطالعه حاضر نیز از مدل مذکور به‌منظور شبیه‌سازی سیلاب استفاده شد. با توجه با متأثر بودن استان گلستان همچون سایر نقاط کشور و جهان از رخدادهای سیلابی ناشی از تغییر اقلیم و تشدید خسارات ناشی از آن ارزیابی ریسک سیل و تهیه نقشه خطر در آن ضرورت دارد. ازاین‌بین حوزه آبخیز قره‌چای شهرستان رامیان به دلیل تجربه رخدادهای سیلابی رودخانه‌ای و ناگهانی متعددی به‌عنوان حوضه موردمطالعه

1 Ecuadorian Andes
2 Gualaceo
3 Kumar et al.
4 Global Flood Monitoring System (GFMS)
5 Ganga and Yamuna
6 Prayagraj
7 Arnell and Gosling
8 Ghanbarpour et al.
9 Manning's roughness coefficient

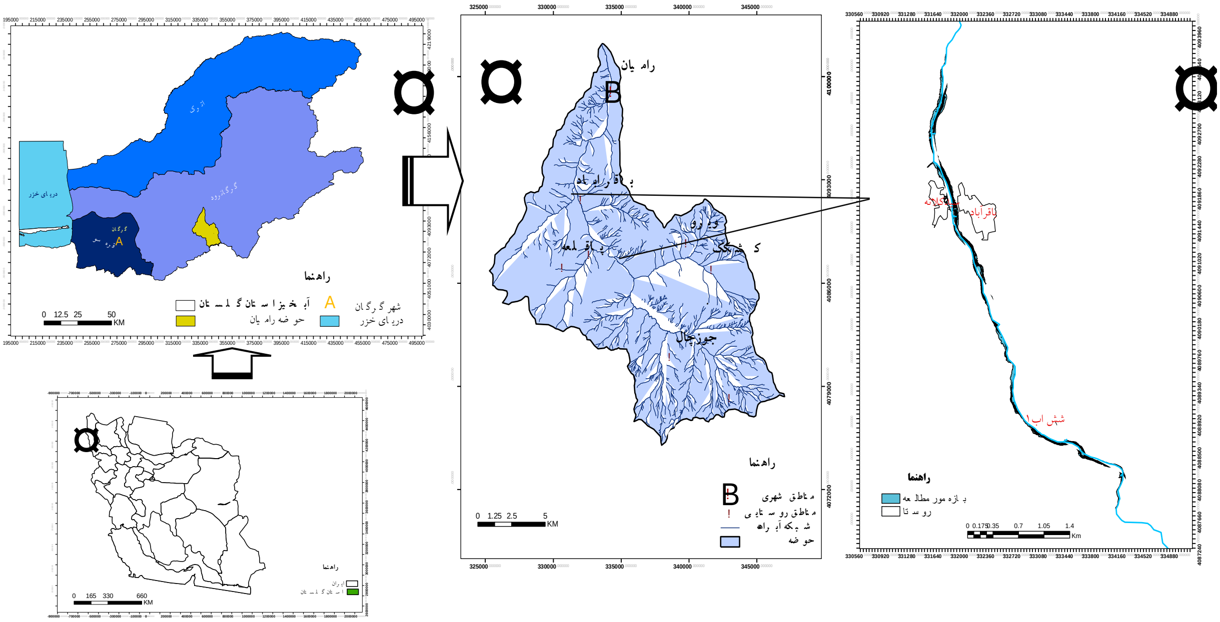
انتخاب شـد، به‌طوری‌که بزرگ‌ترین رخداد ناگهانی سـال ۱۳۹۳ در اسـتان گلسـتان در این حوزه ثبت شـده اسـت، لذا تهیه نقشـه خطر و مناطق طغیان سـیل یک ابزار مدیریتی مناسـب برای شـناسـایی مناطق سـیل‌زده و در معرض سـیل محسوب می‌شـود تا به‌منظور سـازگاری با شـرایط تغییر اقلیم و بروز رخدادهای سـیلابی ناشـی از آن، بتوان برنامه‌ها و اســتراتژی‌هایی مناســب اتخاذ کرد. مطالعه حاضــر به ارزیابی خطر ســیل و تهیه نقشــه آن با اســتفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS دوبعدی برای بازه‌ای از رودخانه قره‌چای رامیان اســتان گلســتان پرداخته اســت. برخلاف کاربردهای رایج برای انتشار سیل در بازه مذکور، نسخه HEC-RAS ۵.۰.۷ چندان در ادبیات مورد استفاده قرار نگرفته است و قابلیت و پتانسیل مدل در شبیه‌سازی سیلاب مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز قره‌چای به مختصــات ً۲٦ َ٤۸ ْ۳٦ تا ً۰۵ َ۰۳ ْ۳۷ طول شــرقی و ً۲٤ َ۰۲ ْ۵۵ تا ً٤۷ َ۱٦ ْ۵۵ عرض شـمالی، یکی از سـرشـاخه‌های حوزه رودخانه‌ای گرگانرود در اسـتان گلسـتان به مسـاحت ۲٤۸۱٦/۵ هکتار به شـمار می‌آید. حداقل و حداکثر ارتفاع آن به ترتیب ۲۸۵۰ متر و ۱۵۰ متر از سطح دریا متغیر می‌باشـد (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، ۱۳۸٦). میانگین بارندگی سالانه حوضه قره‌چای رامیان ۸٦۰/۳ میلی‌متر است. با توجه به تأثیرپذیری حوزه آبخیز قره‌چای از عوامل طبیعی و نیز عوامل انســانی از قبیل شــیب زیاد منطقه، غالب بودن ســازند حســاس خوش‌ییلاق، تجربه وقوع بارش‌های نقطه‌ای[1]، عدم رعایت اصــول صــحیح کشــاورزی در اراضــی شــیبدار کم‌بازده، بهره‌برداری نادرست از معادن، ایجاد خطوط ارتباطی بدون در نظرگرفتن اصول فنی در جاده‌سازی، استقرار ســکونت‌گاه‌ها در مخروطه افکنه‌ها و خروجی حوزه‌های آبخیز، رخدادهای ســیلاب رودخانه‌ای و ناگهانی به همراه خسارات قابل‌ملاحظه به وقوع پیوسته است (شکل ۱).

1 Flash flood



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز رامیان در کشور و استان گلستان

۲-۲- روش انجام پژوهش

۲-۲-۱- تهیه هیدروگراف سیل صدساله

مقادیر بارش با دوره بازگشت صدساله از منحنی شدت، مدت و فراوانی[1] به روش وزیری (وزیری،۱۳۶۳) استخراج و سپس از مدل HEC-HMS[2] برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی جریان و تهیه هیدروگراف سیل با دوره بازگشت صدسال برای زیرحوزه‌های منتهی به بازه موردمطالعه براساس روش سرویس حفاظت منابع طبیعی[3] آمریکا و محاسبه شماره منحنی[4] استفاده شد. بر اساس شرایط حاکم در منطقه، حوزه آبخیز قره‌چای به ۱٦ زیرحوزه آبخیز تقسیم شد.

۲-۲-۲- روندیابی جریان سیلابی با استفاده از مدل دوبعدی HEC-RAS

به‌منظور تعیین ژئومتری و ویژگی‌های هیدرولیکی سطوح دوبعدی جریان از لایه هندسی زمین[5] با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Woldview-۲ سال ۲۰۱٦ با قدرت تفکیک مکانی نیم‌متر برای بازه موردمطالعه به طول هفت

1 Intensity Duration Frequency Curve (IDF)
2 Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System (HEC-HMS) model
3 Natural Resources Conservation Service (NRCS)
4 Curve Number (CN)
5 Terrain layer

کیلومتر نقشه DEM[1] تهیه شد و در ادامه لایه مذکور با استفاده از تعدادی نقاط کنترلی و بازه‌های موردبررسی با دوربین نقشه‌برداری میدانی، صحت‌سنجی نقشه مذکور انجام شد. مقادیر دبی ساعتی ثبت شده رخداد سیلابی اسفند ۱۳۹۷ و مرداد ۱۳۹٦ در ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز قره‌چای به‌عنوان واقعه مشاهداتی به ترتیب برای مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل[۲] در نظر گرفته شد و سپس از مقادیر هیدروگراف تهیه شده از خروجی مدل HEC-HMS برای دوره بازگشت صدسال مدل برای شبیه‌سازی جریان در دوره بازگشت مذکور استفاده شد. دوره بازگشت صدسال به‌عنوان دوره بازگشت استاندارد و پایه در محاسبات سیل و مدیریت ریسک سیل توسط بسیاری از مؤسسات و بسیاری از آژانس‌ها (اتحادیه مدیران امور سیلاب دولت[۳]، ۲۰۰٤) انتخاب و مبنای مطالعه حاضر قرار گرفت.

۲-۲-۳- مدل دوبعدی HEC-RAS

مدل دوبعدی HEC-RAS یکی از متداول‌ترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی سیلاب در شبیه‌سازی هیدرودینامیکی است که به‌وسیله مرکز مهندسی هیدرولوژیکی ارتش آمریکا[٤] تولید شده است. توسعه روش‌های عددی بیشتر و قابل‌اعتمادتر، قدرت محاسباتی کارآمدتر و تکنیک‌های جدید تهیه نقشه توپوگرافی منجر به افزایش استفاده از مدل‌های دوبعدی در شبیه‌سازی رخدادهای سیلابی شده است، به‌طوری‌که باوجوداینکه زمان لازم برای پردازش کمتر شده است، ولی از دقت مناسب برخوردار است. مدل‌های یک‌بعدی از کارایی و توانایی تولید فرایندهای درون کانال‌ها برخوردار هستند، ولی مشکلات از زمانی شروع می‌شود که جریان سیلابی از کناره‌های کانال سرریز[٥] نموده و وارد دشت سیلابی می‌شود (پوینز و تیم، ۲۰۱۹ و کاستیبل و همکاران[٦]، ۲۰۲۰). از بین مدل‌های دوبعدی، مدل دوبعدی HEC-RAS که از معادلات با مبنای فیزیکی[۷] استفاده می‌نماید که یکی بهترین مدل‌های شناخته شده و پرکاربرد در ادبیات علمی و کاربردی محسوب می‌شود (کاستیبل و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین به دلیل غالب بودن بعد افقی بر عمودی در آن، مدل مذکور می‌توانند توصیف واقع‌بینانه‌تری را از سیستم ارائه دهد (پوینز و تیم، ۲۰۱۹). در مدل مذکور از معادلات دوبعدی سنت‌ونانت[۸] یا معادلات موج پخشیدگی دوبعدی برای شبیه‌سازی جریان استفاده می‌کنند. به‌طورکلی معادلات موج پخشیدگی دوبعدی موجب اجرای مدل با سرعت بیشتری می‌شود و پایداری آن به‌مراتب بیشتر است. معادلات دوبعدی سنت‌ونانت دوبعدی برای محدوده وسیعی از مسائل قابل کاربرد هستند، هر

1 Digital Elevation Model (DEM)
2 Model calibration and validation
3 Association of State Floodplain Managers
4 U. S. Army Engineer Hydrologic Engineering Center (HEC)
5 Overbank flow
6 Costabile et al.
7 Physically- Based
8 Saint-Venant's Sain

چند در بسیاری از مدل‌سازی‌ها معادلات موج پخشیدگی در مقایسه با معادلات موج دیفیوژن نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهند. در مدل دوبعدی HEC-RAS این امکان وجود دارد تا بتوان با داده‌های در دسترس و نوع پروژه موردنظر یکی از دو روش را انتخاب نمود (سیستم آنالیز رودخانه‌ای HEC-RAS[1]، ۲۰۱٦). HEC-RAS یک ابزار پیچیده است که شامل تعداد زیادی برنامه برای مدل یک‌بعدی است و اخیراً معادلات آب‌های کم‌عمق[2] دوبعدی را به‌طور کامل که به شرح زیر نوشته شده است حل می‌کند (تبارک[3]، ۲۰۲۱؛ کاستیل و همکاران، ۲۰۲۰؛ مویاکیوریگا و همکاران[4]، ۲۰۱٦ و برانر[5]، ۲۰۱٦).

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial \rho}{\partial x}+\frac{\partial q}{\partial y}=r \qquad \text{(۱) رابطه}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p^2}{h}\right)+\frac{\partial q}{\partial y}\left(\frac{pq}{h}\right)=-\frac{n^2pg\sqrt{p^2+q^2}}{h^2}-gh\frac{\partial H}{\partial x}+pf+\frac{\partial}{\rho\partial x}(h\tau_{xx})+\frac{\partial}{\rho\partial x}(h\tau_{xy}) \qquad \text{(۲) رابطه}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{pq}{h}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q^2}{h}\right)=-\frac{n^2qg\sqrt{p^2+q^2}}{h^2}-gh\frac{\partial H}{\partial y}+qf+\frac{\partial}{\rho\partial x}(h\tau_{xy})+\frac{\partial}{\rho\partial y}(h\tau_{yy}) \qquad \text{(۳) رابطه}$$

که در آن $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$ ارتفاع سطح (m)، Z: ارتفاع سلول در مختصات کاتزین[6] x و y و h: عمق آب (m)، $p = hu$ and $q = hv$ جریان ویژه در جهت x و y ($m2\ s$-1)، u و v به ترتیب سرعت‌ها در x و y، r: شبکه باران[7] (m)، g: شتاب ثقل[8] (ms^{-2})، n: ضریب زبری مانینگ ($s\ m^{-1/3}$)، ρ چگالی آب[9] ($kg\ m^{-3}$)، τxx، τyy و τxy: اجزای فشار تانسور[10]، f: پارامتر کوریولیس (s-1). زمانی که موج دیفیوژن انتخاب شده است.

شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست در بازه موردمطالعه، به‌منظور تعیین مقادیر شرایط مرزی برای شبیه‌سازی جریان رودخانه غیرماندگار بر اساس رخدادهای مشاهداتی و هیدروگراف شبیه‌سازی از مدل HEC-HMS برای دوره بازگشت تعیین شدند. از ضریب زبری مانینگ که یک پارامتر مهم هیدرولیکی در مدل HEC-RAS است که برای واسنجی مدل استفاده شد. در طول جریان، محاسباتی مربوط به سطوح دوبعدی مورد استفاده قرار گرفت تا مشخصات هیدرولیکی جریان در هر سلول به دست آید. به‌منظور ساخت نقشه توزیع مکانی ضریب زبری[11] منطقه موردمطالعه از نقشه کاربری از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۱۹ و ستینل A۲ ۲۰۱۹ در محیط GIS استفاده

1 HEC-RAS River Analysis System
2 Shallow Water Equations
3 Tabarak
4 Moya Quiroga et al.
5 Brunner
6 Cartesian coordinate
7 Net rain
8 Gravity acceleration
9 Water density
10 Stress tensor
11 Spatial Distribution of Manning Coefficient

شد و مقادیر ضریب مانینگ کاربری‌های موجود طی بازدیدهای میدانی، بر اساس مطالعات (چو[1]، ۱۹۵۹ و آرسمنت و اشنایدر[2]، ۱۹۸۹) و نیز تأیید کارشناسان و متخصصین تعیین شد (جدول ۱). مقادیر ضریب مانینگ برای رودخانه قره‌چای بر اساس تقسیم زیرحوزه به مقاطع طولی و به روش کوان[3] تعیین شد (رابطه ٤).

$$n=(n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)\, m_5 \qquad \text{رابطه ٤}$$

که در آن n ضریب زبری مانینگ، n0 مقدار پایه برای کانال صاف، یکنواختی و مستقیم در مواد طبیعی، n1: ضریب مربوط به آثار نامنظمی مقاطع عرضی، n2، چگونگی تغییرات در اندازه و شکل کانال، n3: وجود موانع در مسیر کانال، n4 نوع و تراکم پوشش‌گیاهی، m5 درجه مئاندری بودن مسیر است (آرسمنت و اشنایدر، ۱۹۸۹).

۲-۲-٤- واسنجی و اعتبارسنجی مدل

در شبیه‌سازی جریان سیلابی ضریب زبری مانینگ رودخانه حساس‌ترین پارامتر محسوب می‌شود. برای شبیه‌سازی رودخانه با استفاده از مدل HEC- RAS دوبعدی در بازه مورد نظر، مقادیر مذکور رودخانه و دشت‌های سیلابی لازم است با تنظیم مجموعه‌ای از پارامترها تابع هدف[4] بهینه‌سازی شوند (تبارک و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین کمبود و عدم دسترسی به سوابق ثبت شده سیل، واسنجی مدل را با مشکل جدی مواجه می‌نماید، لذا بر اساس داده‌های داغاب، عمق سیل و سطح بالای تراز سیل انجام می‌شود (پوینز و تیم، ۲۰۱۹ و نعیم و همکاران[5]، ۲۰۲۱). در مطالعه حاضر واسنجی مدل بر اساس بهینه‌سازی مقادیر ضریب زبری مانینگ براساس داغاب‌های موجود در منطقه و جمع‌آوری اطلاعات محلی مربوط به رخداد سیلاب ۱۳۹۷ انجام گرفت و با ثابت در نظر گرفتن ضرایب بهینه شده مانینگ، مدل بر اساس رخداد سال ۱۳۹٦ اعتبارسنجی شد.

۲-۲-۵-ارزیابی مدل

به‌منظور ارزیابی مدل HEC-RAS دوبعدی از شاخص‌های آماری مختلف استفاده می‌شود، شاخص‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر عبارتند از: شاخص کارایی نش ساتکلیف[6]: اهمیت نسبی واریانس مقادیر شبیه‌سازی شده را در مقایسه با واریانس داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد و مقدار آن از منفی بی‌نهایت تا یک تغییر می‌نماید (رابطه ۵). اگر مقدار NSE برابر با یک باشد نشان‌دهنده این است که تناسب کامل بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی وجود

1 Chow
2 Arcement and Schneider
3 Cowan
4 Objective function
5 Naeem et al.
6 Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE)

دارد، اگر مقادیر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، نتایج مدل رضایت‌بخش به شمار می‌آید و درصورتی‌که مقادیر بیش از ۰.۷۵ باشـد، نتایج مدل خوب خواهد بود (مکاینتایر و القریشـی[1]، ۲۰۰۹). شـاخص توافق[2] d: شـاخص مذکور توسـط ویلموت (۱۹۸۱) به‌عنوان معیار استاندارد شده برای تعیین میزان خطای پیش‌بینی شده مدل توسعه یافت (رابطه ٦) که مقدار آن بین صـفر تا یک متغیر اسـت (موریسـی[3] و همکاران، ۲۰۰۷ و سـولر و همکاران[4]، ۲۰۰۷). هرچقدر مقادیر شاخص توافق به یک نزدیک‌تر باشند، عملکرد شبیه‌سازی مدل بهتر است (سولر و همکاران، ۲۰۰۷). ازآنجایی‌که هر دو شـاخص کارایی نش‌سـاتکلیف و شـاخص توافق بسیار تحت‌تأثیر مقادیر با ارزش‌های بالا هسـتند، به‌منظور کاهش خطا از معیارهای کارایی نسـبی چون انحراف نسـبی شـاخص کارایی نش سـاتکلیف[5] (رابطه ۷) و انحراف نسـبی شـاخص توافق[6] (رابطه ۸) استفاده شـد. انحراف نسبی شاخص کارایی نش‌ساتکلیف و انحراف نسبی شـاخص توافق بین صـفر و یک متغیر اسـت، مقدار شـاخص صـفر و یک به ترتیب نشـان‌دهنده عدم توافق و توافق اسـت. (نعیم و همکاران، ۲۰۲۱، ریسو و همکاران[7]، ۲۰۱۲؛ فقات و همکاران[8]، ۲۰۱٦؛ کروس و همکاران[9]، ۲۰۰۵).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{T}(Q_m^t - Q_o^t)^2}{\sum_{t=1}^{T}(Q_o^t - Q_{mean}^t)^2} \quad \text{(۵) رابطه}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(\lceil P - Qmean\rceil + (\lceil Q_i - Qmean\rceil)^2} \quad \text{(٦) رابطه}$$

$$E_{rel} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_i - P_i}{Q_i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_i - Qmean}{Qmean}\right)^2} \quad \text{(۷) رابطه}$$

$$d_{rel} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_i - P_i}{Qmean}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{(\lceil P - Qmean\rceil + (\lceil Q_i - Qmean\rceil)}{Qmean}\right)^2} \quad \text{(۸) رابطه}$$

که در آن Q_{mean} میانگین عمق آب مشـاهداتی ، Q_m: عمق آب شـبیه‌سـازی شـده، Q_o^t: عمق آب مشـاهداتی در زمان است (مکاینتایر و القریشی، ۲۰۰۹ و موریسی و همکاران، ۲۰۰۷).

1 McIntyre and Al-Qurashi
2 Agreement
3 Moriasi et al.
4 Soler et al.
5 Relative deviations of Nash–Sutcliffe efficiency (Erel)
6 Relative deviations of Agreement (drel)
7 Raposo et al.
8 Phogat et al.
9 Krause et al.

۳- نتایج و بحث

مقادیر ضـریب مانینگ در طول جریان محاسـباتی مربوط به سـطوح دوبعدی برای تعیین مشـخصـات هیدرولیکی جریان در هر سـلول مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد. جدول ۱ مقادیر ضـریب زبری مانینگ کاربری‌های مختلف و بازه موردمطالعه رودخانه قره‌چای (هفت کیلومتر) نشـان می‌دهد. همچنین نتایج مطالعه حاضـر بر مبنای چهار شـاخص ارزیابی عملکرد مدل در مرحله واسـنجی در جدول ۲ ارائه شـده اسـت. بررسـی شـاخص NSE نشـان از تناسب کامل بین داده‌های مشـاهداتی و شـبیه‌سـازی در مرحله واسـنجی و نتایج رضـایت‌بخش در مرحله اعتبارسـنجی می‌شـود و در بقیه شـاخص‌های موردبررسـی نتایج بررسـی شـاخص‌های مورد اسـتفاده همگی توصـیف‌کننده شـبیه‌سـازی قابل‌قبول توسط مدل می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر ضریب مانینگ کاربری‌های مختلف در حوزه قره‌چای رامیان

ردیف	نام کاربری	مقدار ضریب زبری مانینگ	ردیف	نام کاربری	مقدار ضریب زبری مانینگ
۱	اراضی زراعی	۰.۱۲۷۰	۱۶	بازه رودخانه۸	۰.۰۶۱۰۵
۲	دشت سیلابی	۰.۰۶۰۰۰	۱۷	بازه رودخانه۹	۰.۱۰۶۲۰
۳	جنگل	۰.۲۰۰۰۰	۱۸	بازه رودخانه۱۰	۰.۱۰۲۱۰
۴	فعالیت کشاورزی	۰.۱۲۷۰۰	۱۹	بازه رودخانه۱۱	۰.۰۶۶۸۰
۵	اراضی محدوده روستا	۰.۱۰۰۰۰	۲۰	بازه رودخانه۱۲	۰.۰۶۶۸۰
۶	مناطق مسکونی	۰.۲۰۰۰۰	۲۱	بازه رودخانه۱۳	۰.۰۸۷۰۰
۷	مناطق اداری	۰.۰۵۰۰۰	۲۲	بازه رودخانه۱۴	۰.۰۸۷۰۰
۸	باغ	۰.۱۰۰۰۰	۲۳	بازه رودخانه۱۵	۰.۰۹۹۰۰
۹	بازه رودخانه۱	۰.۱۰۲۱۰	۲۴	بازه رودخانه۱۶	۰.۱۰۲۱۰
۱۰	بازه رودخانه۲	۰.۱۰۶۲۰	۲۵	بازه رودخانه۱۷	۰.۱۰۲۱۰
۱۱	بازه رودخانه۳	۰.۰۸۴۶۰	۲۶	بازه رودخانه۱۸	۰.۰۷۶۰۰
۱۲	بازه رودخانه۴	۰.۰۸۷۰۰	۲۷	بازه رودخانه۱۹	۰.۱۰۲۱۰
۱۳	بازه رودخانه۵	۰.۰۸۷۰۰	۲۸	بازه رودخانه۲۰	۰.۰۹۳۸۰
۱۴	بازه رودخانه۶	۰.۰۸۷۰۰	۲۹	جاده	۰.۰۱۳۰۰
۱۵	بازه رودخانه۷	۰.۰۶۶۸۰	۳۰	آبراهه	۰.۰۳۷۰۰

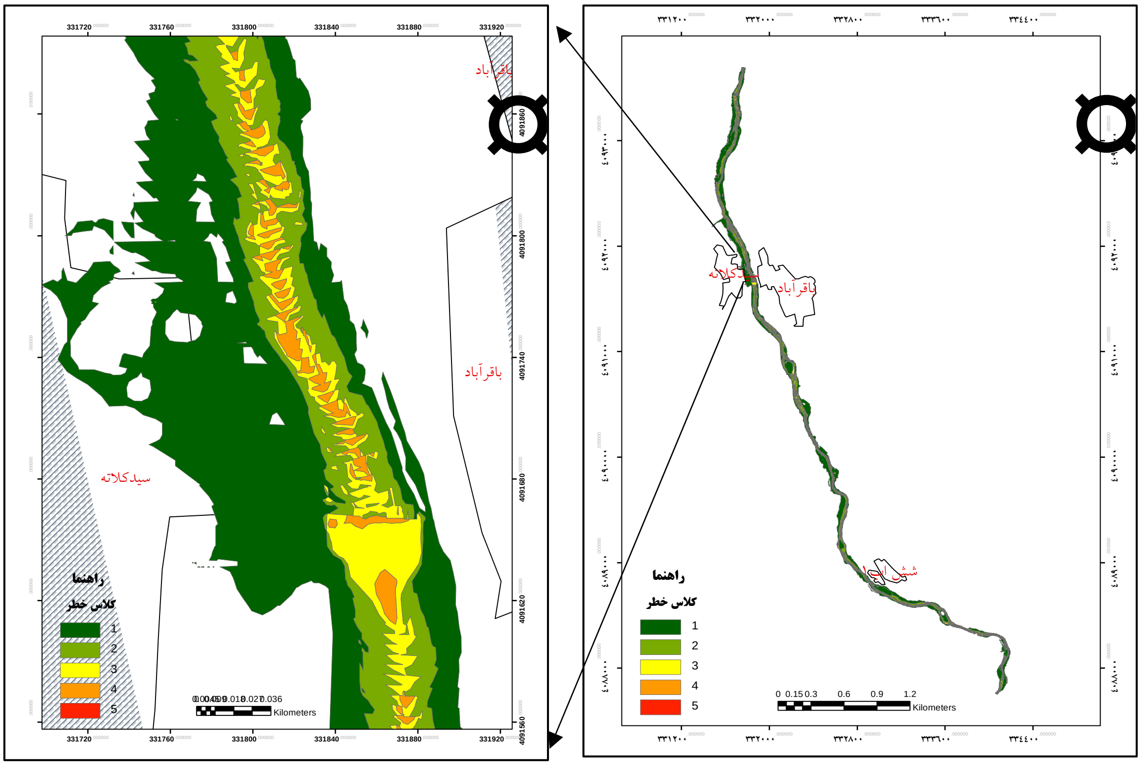
جدول ۲- مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل HecRas در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی حوزه قره‌چای رامیان

سال وقوع رخداد سیلابی	شاخص کارایی نش ساتکلیف (E)	شاخص توافق (d)	انحراف نسبی شاخص کارایی نش ساتکلیف (Erel)	انحراف نسبی شاخص توافق (d rel)
۱۳۹۷ مرحله واسنجی	۰.٦۸	۰.۹۹	۰.۷۷	۰.٦۸
۱۳۹٦ مرحله اعتبارسنجی	۰.٤۷۸	۰.۹۹	۰.۸۷۳	۰.۸۵

نقشه خطر سیلاب نیز شامل ترکیب نقشه عمق، سرعت و تداوم سیل برای جریان سیلابی با دوره بازگشت صدساله می‌باشند. خروجی مدل HEC- RAS عمدتاً برای تهیه نقشه طغیان و نقشه خطر سیل استفاده می‌شود که دامنه تغییرات آن در پنج کلاس تعریف می‌شود (نعیم و همکاران، ۲۰۲۱؛ تبارک و همکاران، ۲۰۲۱) که درجات خطر در نقشه پهنه بندی شده (شکل ۲) و فراوانی آن در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که عمده کلاس خطر سیل مربوط به کلاس اول به مساحت ۲٦/۱۰ هکتار (٥٦/۷ درصد) از پهنه قرار دارد که امتیاز نرمال شده آن صفر است که بر خطر بسیار کم عمده منطقه موردمطالعه دلالت دارند.

جدول ۳- درجات خطر سیل در دوره برگشت صد سال در رودخانه قره‌چای

ردیف	درجه خطر		دوره بازگشت ۱۰۰ سال	
			مساحت (هکتار)	درصد فراوانی نسبی
۱	۰	بسیار کم	٦.۱۰	٥٦.۷
۲	۰.۲٥	کم	۱۲.۳۹	۲٦.۹٥
۳	۰.٥	متوسط	٥.۰۷	۱۱.۰۳
٤	۰.۷٥	زیاد	۱.۹٦	٤.۲٦
٥	۱	خیلی زیاد	۰.٤۲	۰.۹۱
جمع			٤٥.۹٦	۱۰۰



شکل ۲- نقشه خطر سیل برای سیلاب با دوره بازگشت صدساله رودخانه قره‌چای

٤- جمع‌بندی

سیلاب فرایندهای طبیعی ناشی از رخدادهای حدی آب و هوایی هستند که طغیانی شدن دشت‌های سیلابی را منجر شده و خسارات اقتصادی، محیطزیستی و تلفات انسانی قابل‌توجهی را به بار می‌آورد. آنچه که مورد انتظار است این است که تغییر اقلیم بر فراوانی و پهنه سیلاب از طریق تأثیر آن بر شدت و سرعت چرخه هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد (پوینز و تیم، ۲۰۱۹). یکی از نقشه‌های مورد نیاز برای ارزیابی ریسک سیل تعیین خطر سیلاب است که شامل احتمال وقوع سیل با بزرگی مشخص در یک دوره معین از زمان و مکان مشخص می‌باشد که با بررسی عوامل دیگر شامل در معرض قرارگرفتن که از ارزش اقتصادی زندگی انسان و دارایی‌های متأثر از پهنه سیلاب حکایت دارد و آسیب‌پذیری که درجه اجزای مختلف (مردم، ساختمان، زیرساخت، فعالیت‌های اقتصادی) است می‌توان به ارزیابی ریسک سیل یک منطقه دست یافت (فری[1] و همکاران، ۲۰۲۰).

در این مطالعه از بررسی‌های عمق سیل رخداد ۱۳۹۷ و رخداد سیل با دوره بازگشت صد سال می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دوره بازگشت عمق سیلاب افزایش می‌یابد (پوینز و تیم، ۲۰۱۹) و عمده کلاس‌های خطر با

1 Ferri et al.

درجه بالا در مناطق میانی از بستر رودخانه در دوره بازگشت صد سال که عمیق‌ترین مناطق را تشکیل می‌دهند قراردارند و حواشی رودخانه از میزان خطر کمتری برای مردم برخوردار است لذا از نظر مرگ یا جراحت، ناچیز است و انتظار می‌رود خسارات وارده به اموال نسبتاً کم باشد (دینه[1] و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین با مقایسه پهنه سیل رخدادهای سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و دوره بازگشت صدساله می‌توان اذعان داشت که با افزایش دوره بازگشت مناطق مسکونی واقع در روستای سیدکلاته متأثر از سیلاب می‌شوند (مایو-پنتیل[2] و همکاران، ۲۰۱۹). به‌طورکلی ظرفیت کانال برای عبور دبی با دوره بازگشت صد سال تقریباً کافی است ولی در بخش‌هایی از روستای سیدکلاته سیلاب از سمت چپ بازه رودخانه وارد روستا می‌شود. به‌طورکلی هدف از نقشه ریسک سیل و ارزیابی آن درک احتمال وقوع سیل با شدت خاص که در یک دوره زمانی طولانی رخ می‌دهد است و اینکه بتوان از انجام فعالیت‌های مدیریت ریسک که در پهنه سیل حمایت کرد.

همچنین بررسی مقادیر شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده مدل دلالت بر موفق بودن شبیه‌سازی و روندیابی جریان سیلابی دارد و این مدل از دقت خوب و مناسبی برخوردار است. مدل دوبعدی HEC-RAS جریان غیریکنواخت را بسیار قابل‌اعتمادتر نسبت به سایر مدل‌ها شبیه‌سازی می‌کند اما خروجی‌ها نیاز هست تا با داده‌های مشاهداتی نظیر عمق و برآورد سرعت در نقاط مختلف واسنجی شوند. توانایی مدل برای تخمین‌های قابل‌اعتمادتر و روندیابی دقیق سیل بستگی به داده‌های مورد استفاده از قبیل DEM، مقادیر زبری و تنظیمات اجزای محدود مش[3] دارد.

کمبود سوابق و اطلاعات رخدادهای سیلابی گذشته یکی از چالش‌های پیشرو در شبیه‌سازی جریان سیلابی است، استفاده از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مناسب، اندازه مناسب و کافی برای مش محاسباتی و نیز لایه ضریب زبری در شبیه‌سازی مدل HEC-RAS دوبعدی به‌عنوان مدل پایه کمک شایانی می‌کند.

طی مطالعه حاضر مشخص شد حساسیت مقادیر زبری مانینگ در بستر رودخانه در دامنه مناسب در مقیاس رخداد سیل ۱۳۹۷ زیادتر می‌باشد. یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی برای واسنجی مدل مورد استفاده ضریب زبری می‌باشد که بر اساس جداول موجود و نظرات کارشناسی که معیار مشخصی برای بهترین مقدار ضریب زبری است، انتخاب می‌شود. مدل دوبعدی HEC-RAS از وابستگی کمتری نسبت به‌اندازه ابعاد سلول محاسباتی برخوردار بوده و همین امر باعث می‌شود بتوان به‌صرفه هزینه کمتر در زمان کمتر به شبیه‌سازی مناسب جریان پرداخت.

ازآنجاکه تهیه نقشه خطر سیل با توجه به اطلاعات مهمی چون عمق آب، سرعت، تداوم وسعت پهنه سیل که در اختیار می‌گذارد و نشان‌دهنده شدت سیل و احتمال تجاوز مرتبط با آن‌ها در یک منطقه می‌باشند (دی‌بلداساری و

1 Dinh et al.
2 Mihu-Pintilie et al.
3 Mesh

همکاران، ۲۰۱۰ و ویگلیون و روگر[1]، ۲۰۱۵)، می‌تواند ابزار مناسبی و گام اساسی در مدیریت ریسک به شمار آیند و برای مدیریت کارآمد ریسک سیل ضروری می‌باشد؛ ازاین‌رو نقشه حاضر به‌منظور کمک به تصمیم‌گیران و سیاستمداران به‌منظور اتخاذ برنامه مناسب و اقدامات مدیریتی با هدف کاهش ریسک و خسارت (ملموس و غیرملموس) نقش مهمی را ایفا خواهد نمود.

تقدیر و تشکر

از حمایت‌های دانشگاه لرستان در انجام رساله این‌جانب، که بخشی از آن در مطالعه حاضر ارائه شده است، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

کتابنامه

اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان؛ ۱۳۸٦. مطالعه هیدرولوژی حوزه آبخیزه قره‌چای رامیان. *مهندسی مشاور شمال*. ۲۸ ص.

وزیری، فریبرز؛ صیاد مشتاق، شاهین؛ ناصری نوع‌دوست، میرناظر؛ پیمان، بهروز؛ فتحی، ولی‌الله؛ ۱۳٦۳. تجزیه‌وتحلیل رگبارها در نقاط مختلف ایران، جهاد دانشگاهی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، واحد طرح و تحقیقات. ۲۰۵ ص. https://www.sid.ir/paper/789303/fa

Amrei, D. and Britta, S., 2020. Flood hazard analysis in small catchments: comparison of hydrological and hydrodynamic approaches by the use of direct rainfall. Journal of flood risk management, 13: 26 p. https://doi.org/DOI:10.1016/j.jhydrol.2013.02.010.

Arcement, G. J., and Schneider, V. R. 1989. Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains: U. S. Geological Survey Water-Supply Paper 2339, 38 p. https://doi.org/10.3133/wsp2339

Arnell, N,W., Gosling, S. N., 2013. The impacts of climate change on river flow regimes at the global scale. J. Hydrology, 486: 351–364. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.010.

Association of state floodplain managers., 2004. Reducing flood losses: is the 1% chance (100-year) flood standard sufficient? National Academies Disasters Roundtable, Assembly of the Gilbert F. White National Flood Policy Forum, Washington DC, 142. https:// biotech.law. lsu.edu/blog/nrcs143_009401.pdf

Brunner, G.W., 2016. HEC-RAS river analysis system, hydraulic reference manual. Version 5.0; Hydrologic Engineering Centre: Davis, CA, USA, 547. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf

Chow VT., 1959. Open-Channel hydrulics. McGRAW·hill book company; I: 350. https:// heidarpour. iut.ac.ir/ sites/heidarpour.iut.ac.ir/ files/u32/open-chow.pdf

Costabile. P., Costanzo, C., Ferraro, D., Macchione, F., and Petaccia, G., 2020. Performances of the new HEC-RAS version 5 for 2-D Hydrodynamic-Based Rainfall-Runo Simulations at

1 Viglione and Rogger

basin scale: comparison with a State-of-the Art Model.Water, 12 (2326): 19 p. https://doi.org/10.3390/w12092326.

Di Baldassarre, G., Schumann, G., Bates, P. D., Jim, E.,a nd Beven, J., 2010. Flood-plain mapping: a critical discussion of deterministic and probabilistic approaches. Hydrological Sciences Journal, 55 (3): 364-376. https://doi.org/10.1080/02626661003683389.

Dinh, Q., Balica, S., Popescu, I., and Jonoski, A., 2012. Climate change impact on flood hazard, vulnerability and risk of the Long Xuyen Quadrangle in the Mekong Delta. International Journal of River Basin Management, 10: 103-120. https://doi.org/10.1080/15715124.2012.663383.

Ferri, M., Wehnm U., See, L., Monego, M., and Fritz, S., 2020. The value of citizen science for flood risk reduction: cost–benefit analysis of a citizen observatory in the Brenta-Bacchiglione catchment. Hydrology and Earth System Sciences, 24 (12): 5781-5798. https://doi.org/10.5194/hess-24-5781-2020.

Ghanbarpour, M. R., Salimi, S.h., Mohseni, S. M., and Zare, M., 2011. Calibration of river hydraulic model combined with GIS analysis using ground-based observation data. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 3 (5): 456-463. https://portal.research.lu.se/en/publications/calibration-of-river-hydraulic-model-combined-with-gis-analysis-u.

Guha-Sapir, D., Hoyois, P. h, and Below, R., 2016. Annual disaster statistical review 2015: The numbers and trends. Brussels: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), 59p.https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKE0&opi=89978449.

HEC-RAS River Analysis System., 2016. User's Manual Version 5.0. U. S Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Centre (HEC). 538 p. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205 .0% 20 Users% 20Manual.pdf

Krause, P., Boyle, D. P., and Base, F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences, 5: 89–97. https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005.

Kumar, N., Kumar, M., Sherring, A., Suryavanshi, S., Ahmad, A., and Lal, D., 2019. Applicability of HEC-RAS 2D and GFMS for flood extent mapping: a case study of Sangam area, Prayagraj, India. Model. Earth Syst. Environ, 6: 397–405. https://doi.org/10.1007/s40808-019-00687-8.

McIntyre, N., and Al-Qurashi, A., 2009. Performance of ten rainfall–runoff models applied to an arid catchment in Oman.Environmental Modeling and Software, 24 (6): 726-738. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.11.001.

Mihu-Pintilie, A., Cimpianu, C. I.; Stoleriu, C. C., Pérez, M. N., and Paveluc, L. E., 2019. Using high-density LiDAR data and 2D streamflow hydraulic modeling to improve urban flood hazard maps: A HEC-RAS multi-scenario approach. Water, 11 (9) 1832: 24 p. https://doi.org/10.3390/w11091832.

Moriasi, D., Arnold, J., Van, L., Michael, W., Bingner, R., Harmel, R. D, and Veith, T L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50 (3): 885-900. http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153.

Moya Quiroga, V., Kure, S., Udo, K., and Mano, A., 2016. Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. Revista Iberoamericana Del Agua (RIBAGUA), 3 (1): Pages 25-33. https://doi.org/ 10.1016/j.riba.2015.12.001.

Naeem, B., Azmat, M., Ahmad, S. H., Khattak, M. U, Haider, S., Ahmad, S., Khero, Z., and Goodell, Ch. R., 2021. Flood hazard assessment for the Tori Levee Breach of the Indus River Basin, Pakistan. Water, 13 (5): 19 p. https://doi.org/ 10.3390/w13050604.

Ongdas, N., Akiyanova, F., Karakulov, Y., Muratbayeva, A., and Zinabdin, N., 2020. Application of HEC-RAS (2D) for flood hazard maps generation for Yesil (Ishim) River in Kazakhstan. Water, 12 (10): 20 p. https://doi.org/10.3390/w12102672.

Phogat, V., Skewes, M. A., Cox, J. W, and Simunek, J., 2016. Statistical assessment of a numerical model simulating agro hydro-chemical processes in soil under Drip Fertigated Mandarin Tree. Irrigat Drainage Sys Eng, 5: 155. 9 p. https://doi.org/10.4172/2168-9768.1000155.

Pinos, Juan., and Timbe, Luis., 2019. Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins. Water Science and Engineering, 12 (1): 11-18. https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.03.001.

Plate, E. J., 2002. Flood risk and flood management. Journal of Hydrology, 267: 2–11. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00135-X.

Rangari, V. A, Umamahesh, N. V, and Bhatt, C. M., 2019. Assessment of inundation risk in urban foods using HEC RAS 2D. Modeling Earth Systems and Environment, Springer Nature Switzerland AG. 13 p. https://Doi.org/10.1007/s40808-019-00641-8.

Raposo, J. R, Molinero J, and Dafonte J., 2012. Parameterization and quantification of recharge in crystalline fractured be rocks in Galicia-Costa (NW Spain). Hydrol, Earth Syst. Sci. Discuss, 9: 1919–1960. https://doi.org/10.5194/hess-16-1667-2012.

Sahoo, S. N, and Sreeja, P., 2017. Sensitivity of imperviousness determination methodology on runoff prediction, ISH Journal of Hydraulic Engineering, Taylor and Francis, 23 (3): 276-282. https://doi.org/10.1177/ASWR.S36089.

Shahiri Parsa, A., Nori, M., Heydari, M., and Rashidi, M., 2016. Floodplain zoning simulation by using HEC-RAS and CCHE2D Models in the Sungai Maka River. Air, Soil and Water Research, 9: 55–62. https://doi.org/10.4137/ASWR.S3608.

Soler, C., Sentelhas, P., and Hoogenboom, G., 2007. Application CSMCERES maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off season in a subtropical environment. Eur. J. Agron, 27:165-177. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.03.002.

Tabarak, W., Ali, N., and Ali, A.A., 2021. Development and classification of flood hazard map using 2D hydraulic model. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 9 p. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1090/1/012122.

Tellman, B.; Sullivan, J. A.; Kuhn, C.; Kettner, A. J; Doyle, C. S. Brakenridge, G. R., Erickson, T. A., and Slayback, D.A., 2021. Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. Nature, 596: 80–86. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w.

Trinh, M. X., and Molkenthin, F., 2021. Flood hazard mapping for data-scarce and ungauged coastal river basins using advanced hydrodynamic models, high temporal-spatial resolution remote sensing precipitation data, and satellite imageries. Natural Hazards, 109:441–469. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04843-1.

Viglione, A. and M. Rogger., 2015. Flood Processes and Hazards. Paron P, Baldassarre GD, (Editors). Hydro-Meteorological Hazards, Risks and Disasters, 289. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394846-5.00001-1.